

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-043252

(43)Date of publication of application : 12.02.2004

(51)Int.Cl.

C30B 15/20
C30B 29/06

(21)Application number : 2002-204178

(71)Applicant : KOMATSU ELECTRONIC METALS CO
LTD

(22)Date of filing : 12.07.2002

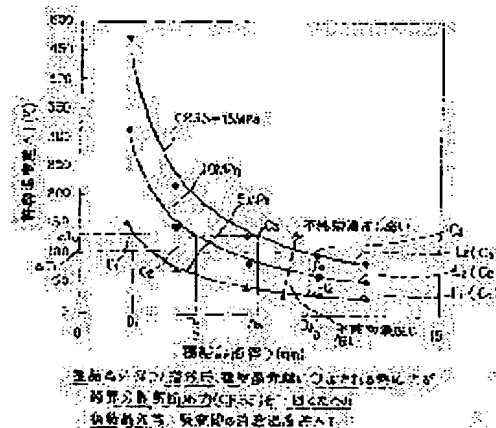
(72)Inventor : MAEDA SUSUMU
INAGAKI HIROSHI
KAWASHIMA SHIGEKI
KUROSAKA SHOEI
NAKAMURA KOZO

(54) METHOD AND APPARATUS FOR MANUFACTURING SINGLE CRYSTAL SEMICONDUCTOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To pull a large size and large weight single crystal semiconductor without adding a significant alteration to an existing apparatus, without affecting the oxygen concentration in the single crystal semiconductor and the temperature of a melt and without elevating the temperature of the seed crystal more than needed.

SOLUTION: The relations L1, L2 and L3 between a permissible temperature difference ΔT and the diameter D of a seed crystal 14 are preset in such a manner that the temperature difference between the seed crystal 14 and the melt 5 when the seed crystal 14 lands on the melt 5 attains the permissible temperature difference ΔT at which dislocation is not introduced into the seed crystal 14. The permissible temperature difference ΔT corresponding to the diameter D of the seed crystal 14 going to land on the liquid is determined in accordance with the relations L1, L2 and L3. The temperature is so regulated that the temperature difference between the seed crystal 14 and the melt 5 attains the determined permissible temperature difference ΔT or below when the seed crystal 14 lands on the melt 5.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

04.07.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-43252

(P2004-43252A)

(43) 公開日 平成16年2月12日(2004.2.12)

(51) Int. Cl. ⁷

C30B 15/20

C30B 29/06

F1

C30B 15/20

C30B 29/06 502E

テーマコード(参考)

4G077

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2002-204178 (P2002-204178)
 (22) 出願日 平成14年7月12日(2002.7.12)

(71) 出願人 000184713
 コマツ電子金属株式会社
 神奈川県平塚市四之宮3丁目25番1号
 (74) 代理人 100071054
 弁理士 木村 高久
 (74) 代理人 100106068
 弁理士 小幡 義之
 (72) 発明者 前田 遼
 神奈川県平塚市四之宮三丁目25番1号コ
 マツ電子金属株式会社内
 (72) 発明者 稲垣 宏
 神奈川県平塚市四之宮三丁目25番1号コ
 マツ電子金属株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 単結晶半導体の製造方法、単結晶半導体の製造装置

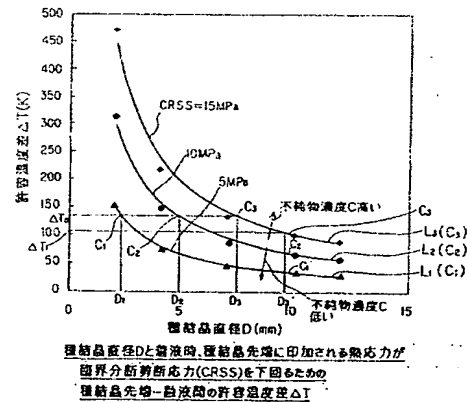
(57) 【要約】

【課題】 既存の装置に大きな変更を加えることなく、単結晶半導体の酸素濃度、融液の温度に影響を与えることなく、必要以上に種結晶の温度を上昇させることなく、大径、大重量の単結晶半導体を引き上げる。

【解決手段】 着液する際の種結晶14と融液5との温度差が、種結晶14中に転位が導入されない許容温度差 ΔT になるように、許容温度差 ΔT と種結晶14の直径Dとの関係L1、L2、L3が予め設定される。そして関係L1、L2、L3に基づいて、着液しようとする種結晶14の直径Dに対応する許容温度差 ΔT が求められる。

そして種結晶14が融液5に着液する際に、種結晶14と融液5との温度差が、求めた許容温度差 ΔT 以下になるように、温度が調整される。

【選択図】 図5



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

種結晶を融液に着液させ、前記種結晶を引き上げることにより単結晶半導体を製造する単結晶半導体の製造方法において、
着液する際の種結晶と融液との温度差が、種結晶中に転位が導入されない許容温度差になるように、許容温度差と種結晶の直径との関係を予め設定し、
前記関係に基づいて、着液しようとする種結晶の直径に対応する許容温度差を求め、
種結晶が融液に着液する際に、種結晶と融液との温度差が、求めた許容温度差以下になるように、温度を調整すること
を特徴とする単結晶半導体の製造方法。

10

【請求項 2】

不純物が添加された種結晶を融液に着液させ、前記種結晶を引き上げることにより単結晶半導体を製造する単結晶半導体の製造方法において、
着液する際の種結晶と融液との温度差が、種結晶中に転位が導入されない許容温度差になるように、許容温度差と種結晶の直径と種結晶中の不純物濃度との関係を予め設定し、
前記関係に基づいて、着液しようとする種結晶の直径、種結晶中の不純物濃度に対応する許容温度差を求め、
種結晶が融液に着液する際に、種結晶と融液との温度差が、求めた許容温度差以下になるように、温度を調整すること
を特徴とする単結晶半導体の製造方法。

20

【請求項 3】

不純物が添加された種結晶を融液に着液させ、前記種結晶を引き上げることにより単結晶半導体を製造する単結晶半導体の製造方法において、
着液する際の種結晶と融液との温度差が、種結晶中に転位が導入されない許容温度差になるように、許容温度差と種結晶の直径と種結晶中の不純物濃度との関係を予め設定し、
前記関係に基づいて、着液しようとする種結晶の直径、着液する際の種結晶と融液との温度差に対応する不純物濃度を求め、
種結晶中の不純物濃度が、求めた不純物濃度以上になるように、種結晶中の不純物濃度を調整すること
を特徴とする単結晶半導体の製造方法。

30

【請求項 4】

種結晶を融液に着液させた後に、単結晶半導体の直径を徐々に絞るネッキング処理を施すことなく単結晶半導体を成長させること
を特徴とする請求項 1 または 2 または 3 記載の単結晶半導体の製造方法。

【請求項 5】

るつぼ内の融液を加熱し、種結晶を融液に着液させ、前記種結晶を引き上げることにより単結晶半導体を製造する単結晶半導体の製造装置において、
前記るつぼの外側に設けられ、当該るつぼに対する加熱量が独立して調整される複数の加熱手段を備え、
着液する際の種結晶と融液との温度差が、種結晶中に転位が導入されない許容温度差になるように、許容温度差と種結晶の直径との関係を予め設定し、
前記関係に基づいて、着液しようとする種結晶の直径に対応する許容温度差を求め、
種結晶が融液に着液する際に、種結晶と融液との温度差が、求めた許容温度差以下になるように、前記複数の加熱手段の各加熱量を制御すること
を特徴とする単結晶半導体の製造装置。

40

【請求項 6】

るつぼ内の融液を加熱し、不純物が添加された種結晶を融液に着液させ、前記種結晶を引き上げることにより単結晶半導体を製造する単結晶半導体の製造装置において、
前記るつぼの外側に設けられ、当該るつぼに対する加熱量が独立して調整される複数の加熱手段を備え、

50

着液する際の種結晶と融液との温度差が、種結晶中に転位が導入されない許容温度差になるように、許容温度差と種結晶の直径と種結晶中の不純物濃度との関係を予め設定し、前記関係に基づいて、着液しようとする種結晶の直径、種結晶中の不純物濃度に対応する許容温度差を求め、

種結晶が融液に着液する際に、種結晶と融液との温度差が、求めた許容温度差以下になるように、前記複数の加熱手段の各加熱量を制御すること
を特徴とする単結晶半導体の製造装置。

【請求項 7】

前記複数の加熱手段は、るつぼの外側の上下方向の各位置に設けられた加熱手段であり、下側の加熱手段の出力を低減若しくはオフにすることにより、種結晶が融液に着液する際の種結晶と融液との温度差を、許容温度差以下にすること
を特徴とする請求項 5 または 6 記載の単結晶半導体の製造装置。 10

【請求項 8】

種結晶を融液に着液させ、前記種結晶を引き上げることにより単結晶半導体を製造する単結晶半導体の製造装置において、

着液する際の種結晶と融液との温度差が、種結晶中に転位が導入されない許容温度差になるように、許容温度差と種結晶の直径との関係を予め設定し、

前記関係に基づいて、着液しようとする種結晶の直径に対応する許容温度差を求め、

種結晶が融液に着液する際に、種結晶と融液との温度差が、求めた許容温度差以下になる熱反射板を、種結晶の近傍に取り付けたこと
を特徴とする単結晶半導体の製造装置。 20

【請求項 9】

るつぼ内の融液を加熱し、不純物が添加された種結晶を融液に着液させ、前記種結晶を引き上げることにより単結晶半導体を製造する単結晶半導体の製造装置において、

前記るつぼの外側に設けられ、当該るつぼに対する加熱量が独立して調整される複数の加熱手段を備え、

着液する際の種結晶と融液との温度差が、種結晶中に転位が導入されない許容温度差になるように、許容温度差と種結晶の直径と種結晶中の不純物濃度との関係を予め設定し、

前記関係に基づいて、着液しようとする種結晶の直径、種結晶中の不純物濃度に対応する許容温度差を求め、 30

種結晶が融液に着液する際に、種結晶と融液との温度差が、求めた許容温度差以下になる熱反射板を、種結晶の近傍に取り付けたこと

を特徴とする単結晶半導体の製造装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、CZ法（チョクラルスキー法）を用いて単結晶シリコンなどの単結晶半導体を製造するに際して、大口径、大重量の単結晶半導体を転位無しで製造することができる方法および装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

単結晶シリコンの製造方法の1つにCZ法がある。

【0003】

図1はCZ法を用いた単結晶引上げ装置1の構成の一例を示している。

【0004】

単結晶引上げ用容器2つまりCZ炉2内には、黒鉛るつぼ11によって外側が覆われた石英るつぼ3が設けられている。石英るつぼ3内で多結晶シリコン（Si）が加熱され溶融される。溶融が安定化すると、引上げ機構4が動作し融液5から単結晶シリコン（単結晶シリコンインゴット）6が引き上げられる。すなわち引上げ軸4aが降下され引上げ軸4aの先端のシードチャック4cに把持された種結晶14が融液5に浸漬される。種結晶1 50

4を融液5になじませた後引上げ軸4 aが上昇する。シードチャック4 cに把持された種結晶1 4が上昇するに応じて単結晶シリコン6が成長する。引上げの際、石英るつぼ3は回転軸1 0によって回転する。また引上げ機構4の引上げ軸4 aは回転軸1 0と逆方向あるいは同方向に回転する。

【0005】

単結晶引上げのプロセス(1バッチ)の間で、容器2内には種々の蒸発物が発生する。そこで単結晶引上げ用容器2にアルゴン(Ar)ガス7を供給して容器2外に蒸発物とともに排気して容器2内から蒸発物を除去しクリーンにしている。アルゴンガス7の供給流量は1バッチ中の各工程ごとに設定する。

【0006】

また石英るつぼ3の上方にあって、単結晶シリコン6の周囲には、単結晶引上げ容器2内のガス7を整流して融液5の表面5 aに導くとともに、単結晶シリコン6を熱源から遮蔽する熱遮蔽板8(ガス整流塔)が設けられている。熱遮蔽板8の下端と融液表面5 aとの間隙の距離(ギャップ)Gは適宜設定される。

【0007】

CZ法で単結晶シリコン6を成長させる際に避けられない問題の1つに、種結晶が融液に着液する際に種結晶内に発生する「転位」がある。この転位は、種結晶1 4が融液5に着液したとき種結晶1 4内に誘起される熱応力に起因して発生する。この転位が、引き続き種結晶1 4の下部に形成されるネッキング部中を伝播しネッキング部を拡大して製造される単結晶シリコン6に取り込まれると、この単結晶シリコン6を半導体デバイス用に用いることはできない。このため転位は、これを除去する必要がある。

【0008】

そこで、従来より融液着液時に種結晶1 4内に導入された転位を種結晶1 4外に除去すべく、種結晶1 4を融液5に着液させた後に、上述したネッキング部の径を3~5 mm程度まで徐々に絞るネッキング処理が引上げ工程の最初の工程で実施される。

【0009】

ところが近年、直径300 mm以上の大径のシリコンウェーハ製造の要請があり、大径で大重量の単結晶シリコンインゴットを、問題なく引き上げられることが要求されており、ネッキング処理によってネッキング部の径を3~5 mm程度に細く絞ったとすると、転位は除去されるものの径が細すぎて大径、大重量の単結晶シリコンインゴットを結晶落下等の不具合なく製造することは不可能になるおそれがある。

【0010】

ここで補助的な把持装置を設け、この把持装置で単結晶シリコン6を把持しつつ引上げ、ネッキング部が破断することによる単結晶シリコンインゴットの落下を防止することが考えられる。

【0011】

しかし既存の単結晶引上げ装置1に、新たに補助的な把持装置を新たに設けることは部品点数の増加を招き装置コストを上昇させる。また単結晶シリコン6を確実に把持する技術は未だ確立されておらず技術的に困難なことが予測される。さらに機械的な把持装置を設けることにすると、金属粉等の汚染物がCZ炉2内に導入されるおそれがあり、CZ炉2内のクリーンな環境が確保されなくなるおそれがある。

【0012】

したがって補助的な保持装置を設けることで大径、大重量の単結晶シリコンインゴットを引き上げることは望ましくない。

【0013】

特開平11-189488号公報には、ネッキング部を細くせずとも大径、大重量の単結晶シリコンインゴットを引き上げることができる下記に掲げる技術が記載されている。

【0014】

a) 熱遮蔽板8の下端と融液表面5 aとの間隙の距離(ギャップ)Gを大きくすることで、石英るつぼ3内の融液5を加熱するヒータからの輻射熱を種結晶1 4に多量に加えて、

10

20

30

40

50

種結晶 14 の温度を上昇させ、種結晶 14 と融液 5 との温度差を小さくし、熱応力によって種結晶 14 に導入される転位を減少させる。

【0015】

b) 黒鉛るつぼ 11 にスリットを設けることで、石英るつぼ 3 内の融液 5 を加熱するヒータからの輻射熱を種結晶 14 に多量に加えて、種結晶 14 の温度を上昇させ、種結晶 14 と融液 5 との温度差を小さくし、熱応力によって種結晶 14 に導入される転位を減少させる。

【0016】

c) 移動機構によって上下に移動可能な補助加熱装置を設け、ネッキング処理の工程で補助加熱装置を種結晶 14 の側方に位置させ、補助加熱装置によって種結晶 14 を加熱して、種結晶 14 の温度を $1380^{\circ}\text{C} \sim 1480^{\circ}\text{C}$ まで上昇させ、種結晶 14 と融液 5 との温度差を小さくし、熱応力によって種結晶 14 に導入される転位を減少させる。この結果、種結晶 14 の直径が 8 mm、14 mm のときにネッキング部は破断しなかったという実験結果が得られた。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】

しかし上記 a)、b) によれば、種結晶 14 の温度を上昇させればよいことがわかるが、どの程度まで種結晶 14 の温度を上昇させるべきか定量的な値は何ら示されていない。

【0018】

また上記 c) によれば種結晶 14 の温度を $1380^{\circ}\text{C} \sim 1480^{\circ}\text{C}$ まで上昇させているが、このような高温まで種結晶 14 の温度を上昇させると、種結晶 14 が融液 5 に着液する前に溶解し、着液前の種結晶 14 の径が縮小するおそれがある。またこの場合溶解した種結晶先端部が融液 5 に滴下し融液 5 中のドーパント濃度が変化して狙いの結晶抵抗率から外れるおそれがある。さらにこのような高温の状態にすると石英るつぼが変形し引上げ中に結晶が変形したり結晶が有転位化してしてしまう危険性が高まる。つまり種結晶 14 の温度を $1380^{\circ}\text{C} \sim 1480^{\circ}\text{C}$ まで上昇させるのは、転位を除去する上でオーバースペックな数値であるといえる。

【0019】

また上記 c) によれば、種結晶 14 の直径が 8 mm、14 mm のときに種結晶 14 の温度を $1380^{\circ}\text{C} \sim 1480^{\circ}\text{C}$ まで上昇させればネッキング部は破断しなかったことはわかるが、ネッキング部が破断しない種結晶 14 の直径と種結晶 14 の温度との臨界的な関係というものは明確に示されていない。

【0020】

また上記 a) によれば、熱遮蔽板 8 の下端と融液表面 5 a との間隙の距離 G を大きくしているが、この距離 G は、融液表面 5 a から蒸発する酸素の量を制限するパラメータであり、ギャップ G の大きさによって、単結晶シリコン 6 に取り込まれる酸素濃度が影響を受ける。このためギャップ G を大きくすることによって単結晶シリコン 6 に導入される転位を除去できるものの単結晶シリコン 6 内の酸素濃度も影響を受け素子、デバイスの特性に重大な影響を与えるおそれがある。またギャップ G の大きさを変化することによって融液 5 の温度も影響を受ける。このためギャップ G を調整する技術を採用することは望ましくない。

【0021】

また上記 b) によれば、黒鉛るつぼ 11 にスリットを設けることによって融液 5 の温度が上昇するおそれがある。このため黒鉛るつぼ 11 にスリットを設ける技術を採用することは望ましくない。

【0022】

また上記 c) によれば、既存の単結晶引上げ装置 1 に、新たに移動機構、補助加熱装置を設けことによって、部品点数が増加し装置コストが上昇する。このため種結晶 14 を加熱するためだけに、新たに移動機構、補助加熱装置を設けるという技術を採用することは望ましくない。

【0023】

そこで、本発明は、既存の装置に大きな変更を加えることなく、単結晶半導体の酸素濃度、融液の温度に影響を与えることなく、必要以上に種結晶の温度を上昇させることなく、大径、大重量の単結晶半導体を引き上げるようにすることを、解決課題とするものである。

【0024】

【課題を解決するための手段および作用、効果】

第1発明は、

種結晶を融液に着液させ、前記種結晶を引き上げることにより単結晶半導体を製造する単結晶半導体の製造方法において、

着液する際の種結晶と融液との温度差が、種結晶中に転位が導入されない許容温度差になるように、許容温度差と種結晶の直径との関係を予め設定し、

前記関係に基づいて、着液しようとする種結晶の直径に対応する許容温度差を求め、

種結晶が融液に着液する際に、種結晶と融液との温度差が、求めた許容温度差以下になるように、温度を調整すること

を特徴とする。

【0025】

第1発明によれば、図5に示すように、着液する際の種結晶14と融液5との温度差が、種結晶14中に転位が導入されない許容温度差 ΔT になるように、許容温度差 ΔT と種結晶14の直径 D との関係 $L1$ 、 $L2$ 、 $L3$ が予め設定される。

【0026】

そして関係 $L1$ 、 $L2$ 、 $L3$ に基づいて、着液しようとする種結晶14の直径 D に対応する許容温度差 ΔT が求められる。

【0027】

そして種結晶14が融液5に着液する際に、種結晶14と融液5との温度差が、求めた許容温度差 ΔT 以下になるように、温度が調整される。

【0028】

第1発明によれば、種結晶14に転位を導入させないための許容温度差 ΔT の臨界的な数値が、関係 $L1$ 、 $L2$ 、 $L3$ として明確に定められているので、許容温度差 ΔT を必要以上に小さくすることなく、つまり種結晶14の温度を必要以上に上昇させることなく種結晶14への転位の導入を防ぐことができる。このため種結晶14が融液5に着液する前に溶解することを防止できる。また石英るつぼ3への熱負荷を低減することができる。

【0029】

第2発明は、

不純物が添加された種結晶を融液に着液させ、前記種結晶を引き上げることにより単結晶半導体を製造する単結晶半導体の製造方法において、

着液する際の種結晶と融液との温度差が、種結晶中に転位が導入されない許容温度差になるように、許容温度差と種結晶の直径と種結晶中の不純物濃度との関係を予め設定し、

前記関係に基づいて、着液しようとする種結晶の直径、種結晶中の不純物濃度に対応する許容温度差を求め、

種結晶が融液に着液する際に、種結晶と融液との温度差が、求めた許容温度差以下になるように、温度を調整すること

を特徴とする。

【0030】

第2発明によれば、図5に示すように、着液する際の種結晶14と融液5との温度差が、種結晶14中に転位が導入されない許容温度差 ΔT になるように、許容温度差 ΔT と種結晶14の直径 D と種結晶14中の不純物濃度 C との関係 $L1$ 、 $L2$ 、 $L3$ が予め設定される。種結晶14の直径 D が同じであれば不純物濃度 C が $C1$ 、 $C2$ 、 $C3$ と高くなるに応じて $L1$ 、 $L2$ 、 $L3$ と変化し、許容温度差 ΔT が大きくなる。

【0031】

そして関係 L_1 、 L_2 、 L_3 に基づいて、着液しようとする種結晶14の直径 D 、種結晶14中の不純物濃度 C に対応する許容温度差 ΔT が求められる。

【0032】

そして種結晶14が融液5に着液する際に、種結晶14と融液5との温度差が、求めた許容温度差 ΔT 以下になるように、温度が調整される。

【0033】

第2発明によれば、種結晶14に転位を導入させないための許容温度差 ΔT の臨界的な数値が、関係 L_1 、 L_2 、 L_3 として明確に定められているので、許容温度差 ΔT を必要以上に小さくすることなく、つまり種結晶14の温度を必要以上に上昇させることなく種結晶14への転位の導入を防ぐことができる。さらに石英るつぼ3への熱負荷を低減することができる。このため種結晶14が融液5に着液する前に溶解することを防止できる。また第2発明によれば、種結晶14の直径 D が同じであれば種結晶14中の不純物（たとえばボロンB）の濃度を高くすることによって許容温度差 ΔT を大きくすることができる。このため種結晶14の温度の上昇をより一層低く抑えつつ転位導入を防ぐことができる。

【0034】

第3発明は、不純物が添加された種結晶を融液に着液させ、前記種結晶を引き上げることにより単結晶半導体を製造する単結晶半導体の製造方法において、着液する際の種結晶と融液との温度差が、種結晶中に転位が導入されない許容温度差になるように、許容温度差と種結晶の直径と種結晶中の不純物濃度との関係を予め設定し、前記関係に基づいて、着液しようとする種結晶の直径、着液する際の種結晶と融液との温度差に対応する不純物濃度を求め、種結晶中の不純物濃度が、求めた不純物濃度以上になるように、種結晶中の不純物濃度を調整すること
を特徴とする。

【0035】

第3発明によれば、図5に示すように、着液する際の種結晶14と融液5との温度差が、種結晶14中に転位が導入されない許容温度差 ΔT になるように、許容温度差 ΔT と種結晶14の直径 D と種結晶14中の不純物濃度 C との関係 L_1 、 L_2 、 L_3 が予め設定される。許容温度差 ΔT が同じであれば種結晶14の直径 D が D_1 、 D_2 、 D_3 と高くなるに
応じて L_1 、 L_2 、 L_3 と変化し、不純物濃度 C が C_1 、 C_2 、 C_3 と大きくなる。

【0036】

そして関係 L_1 、 L_2 、 L_3 に基づいて、着液しようとする種結晶14の直径 D_3 、着液する際の種結晶14と融液5との温度差 ΔT_0 に対応する不純物濃度 C_3 が求められる。

【0037】

そして種結晶14中の不純物濃度 C が、求めた不純物濃度 C_3 以上になるように、種結晶14中の不純物濃度 C が調整される。

【0038】

第3発明によれば、許容温度差 ΔT が同じであれば種結晶14中の不純物濃度 C を高くすることによって、種結晶14の直径 D を大きくすることができるので、種結晶14と融液5との温度差 ΔT つまり種結晶14の温度を制御することなく、不純物濃度 C を調整するだけで、転位導入を防ぐことができるとともに大径、大重量の単結晶半導体を引き上げることができる。

【0039】

第4発明は、第1発明または第2発明または第3発明において、種結晶を融液に着液させた後に、単結晶半導体の直径を徐々に絞るネッキング処理を施すことなく単結晶半導体を成長させること
を特徴とする。

【0040】

第4発明によれば、種結晶14を図5に示す直径 D よりも小さく細くすることなく転位導

入を防ぐことができるので、ネッキング処理の工程は不要となる。このため単結晶シリコンインゴット6の製造時間が短縮され、大径、大重量のシリコン単結晶を保持できる強度がネッキング部だけで維持される。

【0041】

第5発明は、
るつぼ内の融液を加熱し、種結晶を融液に着液させ、前記種結晶を引き上げることにより単結晶半導体を製造する単結晶半導体の製造装置において、
前記るつぼの外側に設けられ、当該るつぼに対する加熱量が独立して調整される複数の加熱手段を備え、
着液する際の種結晶と融液との温度差が、種結晶中に転位が導入されない許容温度差になるように、許容温度差と種結晶の直径との関係を予め設定し、
前記関係に基づいて、着液しようとする種結晶の直径に対応する許容温度差を求め、
種結晶が融液に着液する際に、種結晶と融液との温度差が、求めた許容温度差以下になるように、前記複数の加熱手段の各加熱量を制御すること
を特徴とする。 10

【0042】

第6発明は、
るつぼ内の融液を加熱し、不純物が添加された種結晶を融液に着液させ、前記種結晶を引き上げることにより単結晶半導体を製造する単結晶半導体の製造装置において、
前記るつぼの外側に設けられ、当該るつぼに対する加熱量が独立して調整される複数の加熱手段を備え、
着液する際の種結晶と融液との温度差が、種結晶中に転位が導入されない許容温度差になるように、許容温度差と種結晶の直径と種結晶中の不純物濃度との関係を予め設定し、
前記関係に基づいて、着液しようとする種結晶の直径、種結晶中の不純物濃度に対応する許容温度差を求め、
種結晶が融液に着液する際に、種結晶と融液との温度差が、求めた許容温度差以下になるように、前記複数の加熱手段の各加熱量を制御すること
を特徴とする。 20

【0043】

第7発明は、第5発明または第6発明において、
前記複数の加熱手段は、るつぼの外側の上下方向の各位置に設けられた加熱手段であり、
下側の加熱手段の出力を低減若しくはオフにすることにより、種結晶が融液に着液する際の種結晶と融液との温度差を、許容温度差以下にすること
を特徴とする。 30

【0044】

第5発明によれば、第1発明と同様に、図5に示す関係L1、L2、L3に基づいて、種結晶14と融液5との温度差が許容温度差 ΔT 以下になるように制御されるので、種結晶14の温度を必要以上に上昇させることなく種結晶14への転位の導入を防ぐことができる、種結晶14が融液5に着液する前に溶解することが防止される。 40

【0045】

また第6発明によれば、第2発明と同様に、図5に示す関係L1、L2、L3に基づいて、種結晶14と融液5との温度差が許容温度差 ΔT 以下になるように制御されるので、種結晶14の温度を必要以上に上昇させることなく種結晶14への転位の導入を防ぐことができ、種結晶14が融液5に着液する前に溶解することが防止される。また石英るつぼ3への熱負荷を低減することができる。さらに第2発明と同様に、種結晶14の直径Dが同じであれば種結晶14中の不純物（たとえばボロンB）の濃度を高くすることによって許容温度差 ΔT を大きくすることができるため、種結晶14の温度の上昇をより一層低く抑えつつ転位導入を防ぐことができる。

【0046】

更に第5発明、第6発明、第7発明によれば、図1に示すように、石英るつぼ3の側方に 50

、主ヒータ 9 が設けられ、石英るつぼ 3 の底部に、補助ヒータ（ボトムヒータ）19 が設けられ、これら各ヒータ 9、19 の出力は独立して制御される。これら主ヒータ 9、補助ヒータ 19 は、大径、大重量の単結晶シリコンインゴット 6 を製造する単結晶引上げ装置 1 には、るつぼ 3 の底部の融液 5 の固化を防止し、単結晶シリコン 6 の酸素濃度分布を制御するために、通常、備えられている。これら主ヒータ 9、補助ヒータ 19 は、融液 5 の温度が目標温度となるように各出力が制御される。

【0047】

種結晶 14 が融液 5 に着液される際には、図 6 に示すように補助ヒータ 19 の出力がオフ（0 kW）にされる。これにより融液 5 の温度を目標温度に維持するために、主ヒータ 9 の出力が上昇する。このため種結晶 14 の温度が上昇し、種結晶 14 と融液 5 との温度差が、図 5 に示す関係から求められた許容温度差 ΔT 以下に調整される。

【0048】

第 5 発明、第 6 発明、第 7 発明によれば、既存の単結晶引上げ装置 1 に通常備えられている加熱手段 9、19 をそのまま利用することができ、種結晶 14 を加熱するだけのために新たに加熱装置等を追加する必要がないので部品点数の増加を抑制し装置コストを低減させることができる。

【0049】

また種結晶 14 の温度を上昇させるのみであり融液 5 の温度変動には影響はない。

【0050】

第 8 発明は、種結晶を融液に着液させ、前記種結晶を引き上げるにより単結晶半導体を製造する単結晶半導体の製造装置において、着液する際の種結晶と融液との温度差が、種結晶中に転位が導入されない許容温度差になるように、許容温度差と種結晶の直径との関係を予め設定し、前記関係に基づいて、着液しようとする種結晶の直径に対応する許容温度差を求め、種結晶が融液に着液する際に、種結晶と融液との温度差が、求めた許容温度差以下になる熱反射板を、種結晶の近傍に取り付けたことを特徴とする。

【0051】

第 9 発明は、るつぼ内の融液を加熱し、不純物が添加された種結晶を融液に着液させ、前記種結晶を引き上げるにより単結晶半導体を製造する単結晶半導体の製造装置において、前記るつぼの外側に設けられ、当該るつぼに対する加熱量が独立して調整される複数の加熱手段を備え、着液する際の種結晶と融液との温度差が、種結晶中に転位が導入されない許容温度差になるように、許容温度差と種結晶の直径と種結晶中の不純物濃度との関係を予め設定し、前記関係に基づいて、着液しようとする種結晶の直径、種結晶中の不純物濃度に対応する許容温度差を求め、種結晶が融液に着液する際に、種結晶と融液との温度差が、求めた許容温度差以下になる熱反射板を、種結晶の近傍に取り付けたことを特徴とする。

【0052】

第 8 発明によれば、第 1 発明と同様に、図 5 に示す関係 L1、L2、L3 に基づいて、種結晶 14 と融液 5 との温度差が許容温度差 ΔT 以下になるように制御されるので、種結晶 14 の温度を必要以上に上昇させることなく種結晶 14 への転位の導入を防ぐことができ、種結晶 14 が融液 5 に着液する前に溶解することが防止される。また石英るつぼ 3 への熱負荷を低減することができる。

【0053】

また第 9 発明によれば、第 2 発明と同様に、図 5 に示す関係 L1、L2、L3 に基づいて、種結晶 14 と融液 5 との温度差が許容温度差 ΔT 以下になるように制御されるので、種

結晶 1 4 の温度を必要以上に上昇させることなく種結晶 1 4 への転位の導入を防ぐことができ、種結晶 1 4 が融液 5 に着液する前に溶解することが防止される。また石英るつぼ 3 への熱負荷を低減することができる。さらに第 2 発明と同様に、種結晶 1 4 の直径 D が同じであれば種結晶 1 4 中の不純物（たとえばボロン B）の濃度を高くすることによって許容温度差 ΔT を大きくすることができるため、種結晶 1 4 の温度の上昇をより一層低く抑えつつ転位導入を防ぐことができる。

【0054】

更に第 8 発明、第 9 発明によれば、図 3 に示すように、種結晶 1 4 の近傍に熱反射板 4 d が取り付けられ、熱反射板 4 d によって融液 5 やヒータ 9 等からの輻射熱が種結晶 1 4 に集中して与えられ種結晶 1 4 からの放熱が抑制されるので、種結晶 1 4 の温度が上昇するのみで、融液 5 の温度変動に対する影響は小さい。

【0055】

【発明の実施の形態】

以下図面を参照して実施形態の装置について説明する。

【0056】

図 1 は実施形態の構成を側面からみた図である。

【0057】

同図 1 に示すように、実施形態の単結晶引上げ装置 1 は、単結晶引上げ用容器としての C Z 炉（チャンバ）2 を備えている。図 1 の単結晶引上げ装置 1 は、大径、大重量の単結晶シリコンインゴット 6 を製造するに好適な装置である。

【0058】

C Z 炉 2 内には、多結晶シリコンの原料を溶融して融液 5 として収容する石英るつぼ 3 が設けられている。石英るつぼ 3 は、その外側が黒鉛るつぼ 1 1 によって覆われている。石英るつぼ 3 の外側にあつて側方には、石英るつぼ 3 内の多結晶シリコン原料を加熱して溶融する主ヒータ 9 が設けられている。石英るつぼ 3 の底部には、石英るつぼ底面を補助的に加熱して、石英るつぼ 3 の底部の融液 5 の固化を防止する補助ヒータ（ボトムヒータ）1 9 が設けられている。主ヒータ 9、補助ヒータ 1 9 はそれらの出力（パワー：W）に独立して制御され、融液 5 に対する加熱量が独立して調整される。たとえば、融液 5 の温度が検出され、検出温度をフィードバック量とし融液 5 の温度が目標温度になるように、主ヒータ 9、補助ヒータ 1 9 の各出力が制御される。

【0059】

なお実施形態ではヒータ 9、1 9 によって融液 5 を外部より加熱しているが、加熱手段としてはヒータに限定されるものではなく、いかなる加熱手段を採用してもよい。たとえば電磁加熱による方法、レーザー照射による加熱を採用してもよい。

【0060】

主ヒータ 9 と C Z 炉 2 の内壁との間に、保熱層 1 8 が設けられている。

【0061】

石英るつぼ 3 の上方には引上げ機構 4 が設けられている。引上げ機構 4 は、引上げ軸 4 a と引上げ軸 4 a の先端のシードチャック 4 c を含む。シードチャック 4 c は、融液 5 中に種結晶 1 4 が把持される。

【0062】

石英るつぼ 3 内で多結晶シリコン（Si）が加熱され溶融される。融液 5 の温度が安定化すると、引上げ機構 4 が動作し融液 5 から単結晶シリコン（単結晶シリコンインゴット）6 が引き上げられる。すなわち引上げ軸 4 a が降下され引上げ軸 4 a の先端のシードチャック 4 c に把持された種結晶 1 4 が融液 5 に浸漬される。種結晶 1 4 を融液 5 になじませた後引上げ軸 4 a が上昇する。シードチャック 4 c に把持された種結晶 1 4 が上昇するに応じて単結晶シリコン 6 が成長する。引上げの際、石英るつぼ 3 は回転軸 1 0 によって回転速度 ω 1 で回転する。また引上げ機構 4 の引上げ軸 4 a は回転軸 1 0 と逆方向にあるいは同方向に回転速度 ω 2 で回転する。

【0063】

また回転軸 10 は鉛直方向に駆動することができ、石英るつぼ 3 を上下動させ任意の位置に移動させることができる。

【0064】

CZ 炉 2 内と外気を遮断することで炉 2 内は真空（たとえば 20 Torr 程度）に維持される。すなわち CZ 炉 2 には不活性ガスとしてのアルゴンガス 7 が供給され、CZ 炉 2 の排気口からポンプによって排気される。これにより炉 2 内は所定の圧力に減圧される。

【0065】

単結晶引上げのプロセス（1 バッチ）の間で、CZ 炉 2 内には種々の蒸発物が発生する。そこで CZ 炉 2 にアルゴンガス 7 を供給して CZ 炉 2 外に蒸発物とともに排気して CZ 炉 2 内から蒸発物を除去しクリーンにしている。アルゴンガス 7 の供給流量は 1 バッチ中の各工程ごとに設定する。

【0066】

単結晶シリコン 6 の引上げに伴い融液 5 が減少する。融液 5 の減少に伴い融液 5 と石英るつぼ 3 との接触面積が変化し石英るつぼ 3 からの酸素溶解量が変化する。この変化が、引き上げられる単結晶シリコン 6 中の酸素濃度分布に影響を与える。そこで、これを防止するために、融液 5 が減少した石英るつぼ 3 内に多結晶シリコン原料または単結晶シリコン原料を引上げ後あるいは引上げ中に追加供給してもよい。

【0067】

石英るつぼ 3 の上方にあって、単結晶シリコン 6 の周囲には、略逆円錐台形状の熱遮蔽板 8（ガス整流筒）が設けられている。熱遮蔽板 8 は、保温筒 13 に支持されている。熱遮蔽板 8 は、CZ 炉 2 内に上方より供給されるキャリアガスとしてのアルゴンガス 7 を、融液表面 5 a の中央に導き、さらに融液表面 5 a を通過させて融液表面 5 a の周縁部に導く。そして、アルゴンガス 7 は、融液 5 から蒸発したガスとともに、CZ 炉 2 の下部に設けた排気口から排出される。このため液面上のガス流速を安定化することができ、融液 5 から蒸発する酸素を安定な状態に保つことができる。

【0068】

また熱遮蔽板 8 は、単結晶シリコン 6 が成長する領域により近接する位置に設けられ、石英るつぼ 3、融液 5、単結晶シリコン 6 の周囲部で発生する輻射熱から、石英るつぼ 3、融液 5、単結晶シリコン 6 を保護する。また熱遮蔽板 8 は、単結晶シリコン 6 が、炉内で発生した単結晶シリコン（たとえばシリコン酸化物）等が付着して、単結晶育成を阻害することを防止する。また熱遮蔽板 8 の下部と保温筒 13 の下部との間の隙間を調整することによって、回転軸 10 を上下動させて、石英るつぼ 3 の、鉛直方向位置を変化させることで調整することができる。また熱遮蔽板 8 を鉛直方向に上下方向に移動させてキャリアガスを整流してもよい。

【0069】

また図 1 の単結晶引上げ装置 1 に代えて図 2 に示す単結晶引上げ装置 1 を使用してもよい。

【0070】

図 3 に示す装置では、石英るつぼ 3 の加熱は、石英るつぼ 3 の底部に設けられたヒータ 9 a、下側ヒータ 9 b の出力の比率を調整することによって、石英るつぼ 3 の底部の融液 5 の固化が防止されるとともに、引き上げられる単結晶シリコン 6 の酸素濃度分布が制御される。実施形態装置では、ヒータ 9 を 2 段に分割しているが、3 以上に分割してもよい。

【0071】

（第 1 実施例）

図 5 は、種結晶 14 の直径 D (mm) を横軸にとり、着液する際の種結晶 14 の先端の温度と融液 5 の温度との許容温度差 ΔT (K) を縦軸にとり、直径 D と許容温度差 ΔT の間の対応関係を特性 $L1$ 、 $L2$ 、 $L3$ にて示している。特性 $L1$ 、 $L2$ 、 $L3$ に示すように、種結晶直径 D と許容温度差 ΔT との間にはほぼ反比例の関係が成立する。つまり種結晶

【 0 0 7 2 】

【0 0 7 3】

【0074】

【0075】

【 0 0 7 6 】

1000000

(0.078)

10 37 61

【 0 0 8 0 】

【0081】

【0082】

【0083】

(0 0 8 4)

1000000

1990

【 0 0 8 7 】

【0088】

【 0 0 8 9 】

【 0 0 9 0 】

【 0 0 9 1 】

【0092】

[1 1 0 2]

1993

1992

第1実施例、第3実施例では、 ΔT_1 は、 ΔT_2 の値を ΔT_1 に近づけるように調整しているか、図1の単結晶引上げ装置関係から求めた許容温度差 ΔT_1 になるように調整しているか、図1の単結晶引上げ装

【0098】

すなわち単結晶シリコン6に取り込まれる酸素濃度は、融液5内で発生する対流に影響されることが、当業者の間で知られている。石英るつぼ3内での対流の発生を抑制する技術 50

【 0 0 9 9 】

【0 1 0 0】

10

【0 1 0 1】

20

1. *Chlorophyll a* (Chl *a*)

50705

10144

1. 2

[0106]

【0 1 0 7】

50

ック4 cに、幅2Wの小さな反射板4' dが取り付けられた場合であり、種結晶1 4の先端部1 4 aの温度がA 1よりも高くなっているのがわかる。またA 3はシードチャック4 cにA 2よりも幅2Wが大きい反射板4 dが取り付けられた場合であり、種結晶1 4の先端部1 4 aの温度が最も高くなっているのがわかる。

【0108】

こうしたシミュレーション結果から、種結晶1 4の先端温度を上昇させ種結晶先端温度と融液温度との温度差を、図5に示す関係から求めた許容温度差 ΔT_1 にするに適した幅2Wの反射板4 dが作成され、シードチャック4 cに取り付けられる。

【0109】

そこで図3に示すように、シードチャック4 cに把持された種結晶1 4が融液5に浸漬される直前に、引上げ軸4 aの降下を停止して種結晶1 4の先端と融液表面5 aとの距離を一定距離たとえば10 mmに保持する。

【0110】

このため反射板4 dによって種結晶1 4の先端の温度が上昇し種結晶1 4の先端温度と融液5の温度との温度差が、図5に示す関係から求めた許容温度差 ΔT_1 に一致する。なお許容温度差 ΔT_1 になったことは熱電対等の温度センサで検出してもよく、また温度センサで検出することなく一定時間経過をもって許容温度差 ΔT_1 に達したものとみなしてもよい。

【0111】

着液前の種結晶1 4の先端の温度と融液5の温度との温度差が、図5に示す関係から求めた許容温度差 ΔT_1 に一致したならば、引上げ軸4 aを降下させ種結晶1 4が融液5に浸漬させる。種結晶1 4を融液5になじませた後引上げ軸4 aが上昇する。シードチャック4 cに把持された種結晶1 4が上昇するに応じて単結晶シリコン6が成長する。この場合、単結晶シリコン6の型を成すことなく、ついでに種結晶1 4をより細くする径方向の処理を施すことができる。種結晶1 4の先端の温度と融液5の温度との温度差が、図5に示す関係から求めた許容温度差 ΔT_1 に一致したならば、引上げ軸4 aを降下させ種結晶1 4が融液5に浸漬させる。種結晶1 4を融液5になじませた後引上げ軸4 aが上昇する。シードチャック4 cに把持された種結晶1 4が上昇するに応じて単結晶シリコン6が成長する。この場合、単結晶シリコン6の型を成すことなく、ついでに種結晶1 4をより細くする径方向の処理を施すことができる。

以上で、種結晶1 4の先端の温度と融液5の温度との温度差が、図5に示す関係から求めた許容温度差 ΔT_1 に一致したならば、引上げ軸4 aを降下させ種結晶1 4が融液5に浸漬させる。種結晶1 4を融液5になじませた後引上げ軸4 aが上昇する。シードチャック4 cに把持された種結晶1 4が上昇するに応じて単結晶シリコン6が成長する。この場合、単結晶シリコン6の型を成すことなく、ついでに種結晶1 4をより細くする径方向の処理を施すことができる。

種結晶1 4の先端の温度と融液5の温度との温度差が、図5に示す関係から求めた許容温度差 ΔT_1 に一致したならば、引上げ軸4 aを降下させ種結晶1 4が融液5に浸漬させる。種結晶1 4を融液5になじませた後引上げ軸4 aが上昇する。シードチャック4 cに把持された種結晶1 4が上昇するに応じて単結晶シリコン6が成長する。この場合、単結晶シリコン6の型を成すことなく、ついでに種結晶1 4をより細くする径方向の処理を施すことができる。

【0114】

以上で、種結晶1 4の先端の温度と融液5の温度との温度差が、図5に示す関係から求めた許容温度差 ΔT_1 に一致したならば、引上げ軸4 aを降下させ種結晶1 4が融液5に浸漬させる。種結晶1 4を融液5になじませた後引上げ軸4 aが上昇する。シードチャック4 cに把持された種結晶1 4が上昇するに応じて単結晶シリコン6が成長する。この場合、単結晶シリコン6の型を成すことなく、ついでに種結晶1 4をより細くする径方向の処理を施すことができる。

以上で、種結晶1 4の先端の温度と融液5の温度との温度差が、図5に示す関係から求めた許容温度差 ΔT_1 に一致したならば、引上げ軸4 aを降下させ種結晶1 4が融液5に浸漬させる。種結晶1 4を融液5になじませた後引上げ軸4 aが上昇する。シードチャック4 cに把持された種結晶1 4が上昇するに応じて単結晶シリコン6が成長する。この場合、単結晶シリコン6の型を成すことなく、ついでに種結晶1 4をより細くする径方向の処理を施すことができる。

以上で、種結晶1 4の先端の温度と融液5の温度との温度差が、図5に示す関係から求めた許容温度差 ΔT_1 に一致したならば、引上げ軸4 aを降下させ種結晶1 4が融液5に浸漬させる。種結晶1 4を融液5になじませた後引上げ軸4 aが上昇する。シードチャック4 cに把持された種結晶1 4が上昇するに応じて単結晶シリコン6が成長する。この場合、単結晶シリコン6の型を成すことなく、ついでに種結晶1 4をより細くする径方向の処理を施すことができる。

【0117】

しかし、表面が $\{110\}$ 結晶面となっているシリコンウェーハ($\langle 110 \rangle$ 軸結晶)を製造する場合、つまり $\langle 110 \rangle$ 結晶方位が種結晶の軸方向と一致するように引き上げる

場合には、すべり転位を除去することは困難であることが判明し、すべり転位を除去する技術は未だ確立されていない。

【0118】

<110>結晶方位が種結晶の軸方向と一致するように引き上げる場合には、ネッキング工程で、単結晶シリコンの径を相当絞ったとしても、結晶中心部に転位が残存し易く、半導体デバイス不良の要因になる。単結晶シリコンの径を<100>軸結晶を引き上げるときよりも相当細く絞らないと、すべり転位を除去することができない。

【0119】

そこで<110>軸結晶の単結晶シリコン6を引き上げる場合に、上述した第1実施例～第6実施例を適用して、径を太くした状態で引き上げるようにしてもよい。

10

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は実施形態の単結晶引き上げ装置を示す図である。

【図2】図2は図1とは異なる単結晶引き上げ装置を示す図である。

【図3】図3は反射板の取付例を示す図である。

【図4】図4は種結晶が融液に浸漬される前の状態を示す図である。

【図5】図5は種結晶の直径と許容温度差の関係を示す図である。

【図6】図6は、種結晶先端からの距離と種結晶中心軸上の温度との関係を示す図である。

。【図7】図7は、反射板の幅に応じて種結晶の先端の温度が変化する様子を示す図である。

20

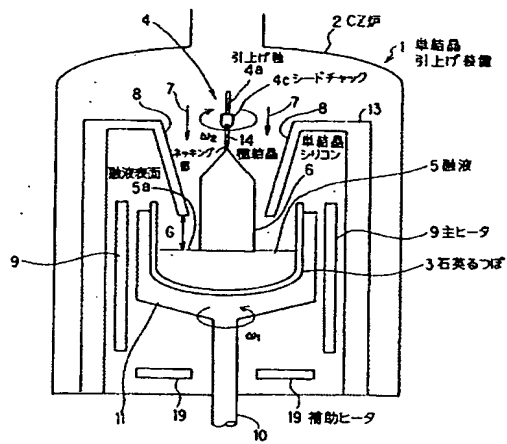
【符号の説明】

3 石英るつぼ

4 昇降機構

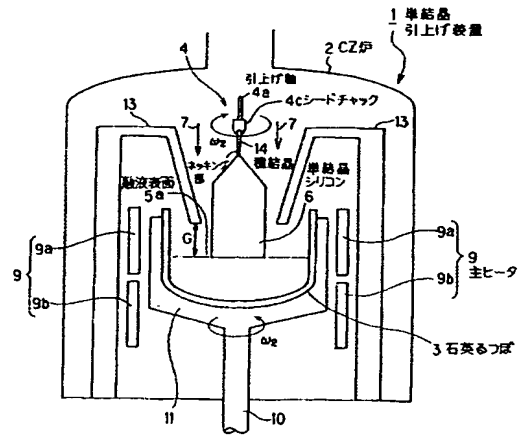
5 反射板

【図 1】

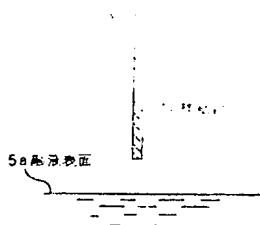
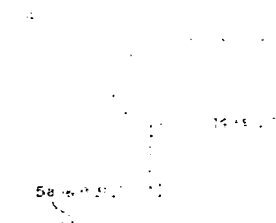


- 4 引上げ機構
- 4a 引上げ軸
- 7 アルゴンガス
- 8 無遮蔽板
- 10 回転軸
- 11 黒鉛るつぼ
- 13 保温筒

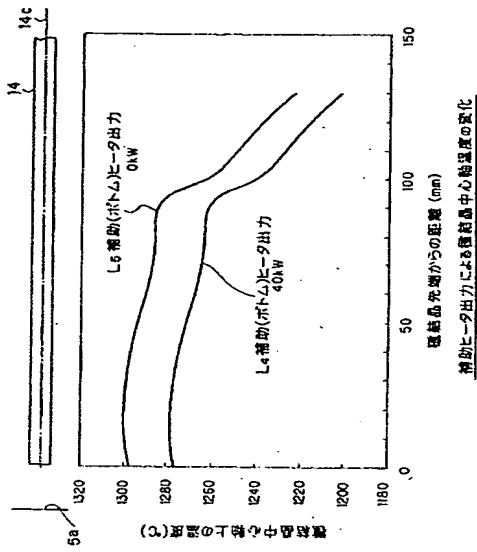
【図 2】



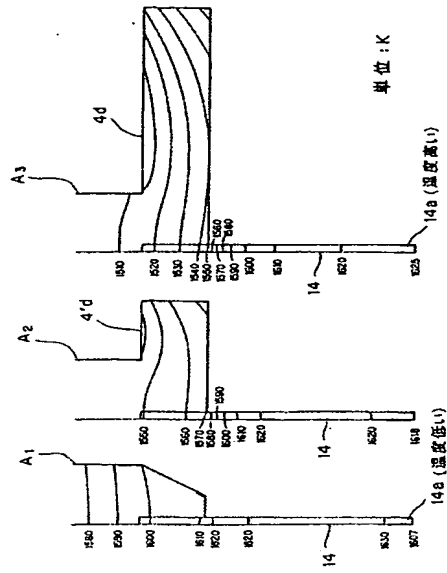
- 4 引上げ機構
- 4a 引上げ軸
- 7 アルゴンガス
- 8 無遮蔽板
- 10 回転軸
- 11 黒鉛るつぼ
- 13 保温筒



【図 6】



【図 7】



シートヒータの区別が温度分布に与える影響を示す図

フロントページの続き

(72)発明者 川島 茂樹

神奈川県平塚市四之宮三丁目2 5 番1 号コマツ電子金属株式会社内

(72)発明者 黒坂 昇栄

神奈川県平塚市四之宮三丁目2 5 番1 号コマツ電子金属株式会社内

(72)発明者 中村 浩三

神奈川県平塚市四之宮三丁目2 5 番1 号コマツ電子金属株式会社内

Fターム(参考) 4G077 AA02 BA04 CF10 EA01 EA02 ED01 EG16 EG30 HA12 PF55

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載
 【部門区分】第3部門第1区分
 【発行日】平成17年10月27日(2005.10.27)

【公開番号】特開2004-43252(P2004-43252A)
 【公開日】平成16年2月12日(2004.2.12)
 【年通号数】公開・登録公報2004-006
 【出願番号】特願2002-204178(P2002-204178)
 【国際特許分類第7版】

C 3 0 B 15/20

C 3 0 B 29/06

【F I】

C 3 0 B 15/20

C 3 0 B 29/06 5 0 2 E

【手続補正書】

【提出日】平成17年7月4日(2005.7.4)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項9

【補正方法】変更

【補正の内容】

【請求項9】

融液に種結晶を着液し、種結晶と融液との温度差が、求めた許容温度差以下になる熱反射板を、種結晶の近傍に取り付けたことを特徴とする。

融液に種結晶を着液し、種結晶と融液との温度差が、求めた許容温度差以下になる熱反射板を、種結晶の近傍に取り付けたことを特徴とする。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項9

【補正方法】変更

【補正の内容】

融液に種結晶を着液し、種結晶と融液との温度差が、求めた許容温度差以下になる熱反射板を、種結晶の近傍に取り付けたことを特徴とする。

融液に種結晶を着液し、種結晶と融液との温度差が、求めた許容温度差以下になる熱反射板を、種結晶の近傍に取り付けたことを特徴とする。

前記関係に基づいて、着液しようとする種結晶の直径、種結晶片の熱伝導率に對する許容温度差を求め、

種結晶が融液に着液する際に、種結晶と融液との温度差が、求めた許容温度差以下になる熱反射板を、種結晶の近傍に取り付けたことを特徴とする。

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.